

Zusammenfassung
der Dissertation von Dipl.-Wirtsch.-Ing. Holger Höller mit dem Titel
**Schichtenübergreifende Planung von Hochgeschwindigkeits-
Telekommunikationsnetzen**

Zuverlässige und leistungsfähige Telekommunikationsdienstleistungen sind heutzutage aus vielen Bereichen des Lebens nicht mehr wegzudenken. Angefangen vom Telefon bis hin zu E-Mail und World Wide Web (WWW) werden sie täglich von vielen Millionen Menschen weltweit genutzt. Abgesehen von den Annehmlichkeiten der privaten Kommunikation sind gerade die Wirtschaftsunternehmen vieler Branchen in hohem Maße von einem reibungslosen Funktionieren der Telekommunikationssysteme abhängig. Dies betrifft nicht nur Unternehmen wie Amazon oder Google, deren gesamtes Geschäftsmodell auf der allgemeinen Verfügbarkeit von Internetdiensten basiert, sondern gerade auch die „klassische Industrie“. Auch wenn dies für den Endkunden oft auf den ersten Blick nicht erkennbar ist, so sind die einzelnen Unternehmen entlang der Lieferkette oft weitgehend elektronisch vernetzt.

Die stark steigende Nachfrage nach solchen Diensten führt zusammen mit dem technischen Fortschritt der Übertragungssysteme in vergleichsweise kurzen Zyklen zur Entstehung immer größerer und komplexerer Kommunikationsnetze. Die Planung dieser schnell wachsenden Netze stellt eine fortlaufende Herausforderung dar, die ab einer bestimmten Netzgröße nur noch sinnvoll mit Hilfe computergestützter Planungssysteme durchgeführt werden kann. Die Weiterentwicklung der mathematischen Verfahren, die solchen Planungssystemen zugrunde liegen, ist das Kernthema dieser Arbeit.

In dieser Arbeit werden verschiedene Ansätze zur Lösung schichtenübergreifender Netzplanungsprobleme für schnelle Glasfasernetze vorgestellt. Der technologische Fokus liegt dabei auf Wavelength Division Multiplex (WDM), Synchronous Digital Hierarchy (SDH) und Multi Protocol Label Switching (MPLS), jedoch sind die Verfahren auch auf andere Technologien wie beispielsweise Optical Transport Network (OTN) übertragbar.

In der Einleitung wird zunächst der wirtschaftliche und technologische Kontext dieser Arbeit beschrieben. In diesem Rahmen werden auch die im Titel der Arbeit vorkommenden Begriffe „schichtenübergreifend“ und „Hochgeschwindigkeit“ definiert, da sie entscheidenden Einfluss auf die genaue Ausprägung der behandelten Problemstellung haben. Der eigentliche Kern der Arbeit (Kapitel 2, 3 und 4) beschäftigt sich dann mit der konkreten Ausprägung der Problemstellung, ihrer Modellierung und ihrer Lösung mittels gemischt ganzzahliger Programmierung (MIP, mixed integer programming) auf Basis von AMPL/CPLEX und heuristischer Verfahren auf Basis der Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) Ideen. Ein Schwerpunkt ist die Berücksichtigung unterschiedlicher Schutzverfahren. Anschließend werden in Kapitel 5 eine Reihe von Rechenergebnissen und Fallstudien diskutiert. Während die Rechenergebnisse aus Berechnungen mit realen oder generierten Probleminstanzen gewonnen werden, um die Anwendbarkeit und Lösungsgüte der Verfahren zu überprüfen, gehen die Fallstudien noch einen Schritt weiter. Hier wird mit Hilfe der entwickelten Verfahren eine möglichst gute Lösung oder ein allgemeiner Erkenntnisgewinn für eine praktische Problemstellung gesucht. Abschließend werden in Kapitel 6 die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche zukünftige, darauf aufbauende Forschungsgebiete gegeben.

Die wesentlichen Fortschritte, die mit dieser Arbeit erzielt wurden, liegen auf drei Gebieten: weitgehend simultane Planung über mehrere Netzschichten hinweg, eine sehr detaillierte Modellierung der Problemstellung bis hin zu einzelnen Portkarten und dies beides zusammen auch

für sehr große Problemstellungen. Der theoretische Erkenntnisgewinn, der aus diesen Modellen und den damit bearbeiteten synthetischen Testinstanzen gewonnen wurde, konnte erfolgreich auf Probleme aus der Praxis übertragen werden. Insbesondere die Heuristik wurde erfolgreich auf verschiedene, teilweise sehr große Praxisprobleme aus dem Bereich der taktischen und strategischen Netzplanung angewandt. Das exakte Lösen kleiner Probleminstanzen mit Hilfe von CPLEX dient dagegen primär der Kontrolle der Leistungsfähigkeit der heuristischen Verfahren.

Methodisch ist vor allem die gezielte Anpassung der GRASP-Idee auf das vorliegende Planungsproblem sowie die Hybridisierung mit der Pilotmethode hervorzuheben. Darüber hinaus wurden auch wertvolle Erkenntnisse gewonnen, welche mathematischen Formulierungen sich besonders gut eignen, um Flussprobleme mit Ganzzahligkeitsbedingungen effizient mit CPLEX lösen zu können. Sowohl die Heuristik, als auch das mit CPLEX gelöste ganzzahlige Modell haben den direkten Vergleich mit konkurrierenden Modellformulierungen oder Heuristiken in verschiedenen Vergleichsrechnungen sehr gut bestanden.

Alle vorgestellten Verfahren und Softwaretools stellen Hilfsmittel für einen erfahrenen Planer dar. Sie ermöglichen es, in kurzer Zeit unterschiedliche Szenarien durchzuspielen und gute Lösungsvorschläge für komplexe Problemstellungen zu generieren. Somit bieten sie eine wertvolle Hilfe für die taktische und strategische Netzplanung. Es handelt sich dabei jedoch keineswegs um eine vollautomatische Netzplanung. Der gesamte Planungsprozess mit seinen vielfältigen Randbedingungen ist viel zu komplex, als dass dies heute oder in naher Zukunft sinnvoll machbar wäre. Darüber hinaus stößt man im praktischen Einsatz immer wieder auf zusätzliche Probleme, die sich ohnehin kaum automatisieren lassen, wie z.B. die Interpretation einer unklaren Datenlage oder Kompetenzverteilungen zwischen einzelnen Abteilungen, letzteres insbesondere bei der Planung über Technologiegrenzen hinweg.